

EUROPEAN PATENT OFFICE

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 07090484
PUBLICATION DATE : 04-04-95

APPLICATION DATE : 17-09-93
APPLICATION NUMBER : 05253691

APPLICANT : NIPPON STEEL CORP;

INVENTOR : KOYASU YOSHIRO;

$$\text{断面内平均硬度 } HV_a = \left(\sum_{n=1}^N HV_n \times r_n^2 \times \Delta r_n \right) \times 3 / a^3$$

INT.CL. : C22C 38/00 C22C 38/14 C22C 38/60

TITLE : HIGH STRENGTH
INDUCTION-HARDENED SHAFT
PARTS

ABSTRACT : PURPOSE: To produce high strength induction-hardened shaft parts excellent in workability by specifying the compsn. constituted of C, Si, Mn, S, Al, Ti, B, N, P, Cu, O and iron and the average hardness in the section.

CONSTITUTION: This shaft parts have a compsn. contg., by weight, 0.35 to 0.70% C, 0.01 to 0.15% Si, 0.2 to 2.0% Mn, 0.005 to 0.15% S, 0.0005 to 0.05% Al, 0.005 to 0.05% Ti, 0.0005 to 0.005% B and 0.002 to 0.02% N, in which $\leq 0.020\%$ P, $\leq 0.05\%$ Cu and $\geq 0.0020\%$ O are limited, furthermore contg., at need, prescribed amounts of Cr, Mo, Ni, Nb, V, Ca and Pb, and the balance iron with inevitable impurities, and in which the average hardness HV_a in the section defined by the formula (the section of the radius (a) is divided concentrically into (n) rings in the radial direction, and the hardness of the (n) th ring-shaped parts is defined as HV_n , the radius as r_n and the interval as Δr_n) is regulated to ≥ 560 . Thus, the shaft parts free from quench cracks and having about $\geq 160\text{kgf/mm}^2$ torsional strength can be obt'd.

COPYRIGHT: (C)1995,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-90484

(43) 公開日 平成7年(1995)4月4日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
C 2 2 C 38/00	3 0 1 A			
38/14				
38/60				

審査請求 未請求 請求項の数 7 F D (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願平5-253691	(71) 出願人	000006655 新日本製鐵株式会社 東京都千代田区大手町2丁目6番3号
(22) 出願日	平成5年(1993)9月17日	(72) 発明者	越智 達朗 北海道室蘭市仲町12番地 新日本製鐵株式 会社室蘭製鐵所内
		(72) 発明者	子安 善郎 北海道室蘭市仲町12番地 新日本製鐵株式 会社室蘭製鐵所内
		(74) 代理人	弁理士 萩原 康弘 (外1名)

(54) 【発明の名称】 高強度高周波焼入れ軸部品

(57) 【要約】

【目的】 本発明は、焼き割れを防止しかつ160kgf/mm²以上の優れた振り強さを有する高周波焼入れ軸部品を提供する。

【構成】 C:0.35~0.70%、S:0.005~0.15%、Al:0.0005~0.05%、Ti:0.005~0.05%、B:0.0005~0.005%、N:0.002~0.02%を含有し、さらにSi:0.01~0.15%、Mn:0.2~2.0%、またはSi:0.15超~2.5%、Mn:0.6~2.0%であり、P、Cu、Oを特定量以下に規制し、さらにまたは特定量のCr、Mo他を含有し、断面内平均硬さHVAが560以上であり、さらにまたは高周波焼入れ層の旧オーステナイト結晶粒度が9番以上であり、さらにまたは表面の残留応力が-80kgf/mm²以下である高強度高周波焼入れ軸部品。

(2)

2

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 重量比として、

C : 0.35~0.70%

Si : 0.01~0.15%

Mn : 0.2~2.0%

S : 0.005~0.15%

Al : 0.0005~0.05%

Ti : 0.005~0.05%

B : 0.0005~0.005%

N : 0.002~0.02%

を含有し、

$$\text{断面内平均硬さ } HVa = \left(\sum_{n=1}^N HV_n \times r_n^2 \times \Delta r_n \right) \times 3 / a^3$$

【請求項2】 重量比として、

C : 0.35~0.70%

Si : 0.15超~2.5%

Mn : 0.6~2.0%

S : 0.005~0.15%

Al : 0.0005~0.05%

Ti : 0.005~0.05%

B : 0.0005~0.005%

N : 0.002~0.02%

を含有し、

$$\text{断面内平均硬さ } HVa = \left(\sum_{n=1}^N HV_n \times r_n^2 \times \Delta r_n \right) \times 3 / a^3$$

【請求項3】 鋼がさらに、

Cr : 0.03~1.5%

Mo : 0.05~1.0%

Ni : 0.1~3.5%

の1種または2種以上を含有する請求項1または請求項 30

2記載の高強度高周波焼入れ軸部品。

【請求項4】 鋼がさらに、

Nb : 0.01~0.3%

V : 0.03~0.6%

の1種または2種を含有する請求項1ないし3記載の高強度高周波焼入れ軸部品。

【請求項5】 鋼がさらに、

Ca : 0.0005~0.010%

Pb : 0.05~0.5%

の1種または2種を含有する請求項1ないし4記載の高強度高周波焼入れ軸部品。 40

【請求項6】 高周波焼入れ層の旧オーステナイト結晶粒度が9番以上である請求項1ないし5記載の高強度高周波焼入れ軸部品。

【請求項7】 表面の残留応力が -80 kgf/mm^2 以下である請求項1ないし6記載の高強度高周波焼入れ軸部品。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は高強度高周波焼入れ軸 50

*P : 0.020%以下

Cu : 0.05%以下

O : 0.0020%以下に制限し、

残部が鉄および不可避免的な不純物からなり、下記で定義される断面内平均硬さHV_aが560以上であることを特徴とする高強度高周波焼入れ軸部品。断面内平均硬さの定義：半径aの断面を半径方向に同心円状にN個のリングに分割し、n番目のリング状部分の硬さをHV_n、半径をr_n、間隔をΔr_nとした時、

10 【数1】

※P : 0.020%以下

Cu : 0.05%以下

O : 0.0020%以下に制限し、

残部が鉄および不可避免的な不純物からなり、下記で定義される断面内平均硬さHV_aが560以上であることを特徴とする高強度高周波焼入れ軸部品。断面内平均硬さの定義：半径aの断面を半径方向に同心円状にN個のリングに分割し、n番目のリング状部分の硬さをHV_n、半径をr_n、間隔をΔr_nとした時、

※ 【数2】

品にかかわり、さらに詳しくは、図1の(a)~(c)に示したスプライン部を有するシャフト、フランジ付シャフト、外筒付シャフト等の自動車の動力伝達系を構成する軸部品として優れた振り強度を有する高周波焼入れ軸部品に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 自動車の動力伝達系を構成する軸部品は、通常中炭素鋼を所定の部品に成形加工し、高周波焼入れ焼戻しを施して製造されているが、近年の自動車エンジンの高出力化及び環境規制対応にともない、高強度化（振り強度の向上）の指向が強い。これに対して、特公昭63-62571公報にはC : 0.30~0.38%、Mn : 0.6~1.5%、B : 0.0005~0.0030%、Ti : 0.01~0.04%、Al : 0.01~0.04%からなる鋼をドライブシャフトに成形し、高周波焼入れによる高周波焼入れ深さと鋼部材半径の比を0.4以上とするドライブシャフトの製造方法が示されている。該発明材で得られる最大の振り強度は該公報第1図にみられるように、約160 kgf/mm²である。また、特開平4-218641号公報にはSi : 0.05%以下、Mn : 0.65超1.7以下である低Siと高Mnを特徴とする特定成分系の高強度軸部品用鋼材を用いることにより、スプライン部付き材で140~160 kgf/mm²の振り強度が得られることが示されている。以上のように現状で実現できる振り

強度の最大は約160kgf/mm²である。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかし、前記した振り強度160kgf/mm²の強度レベルは、自動車の動力伝達系軸部品の強度レベルとして十分であるとは言えないのが現状である。また、高強度化を図る上で部品製造工程上、加工性の向上と焼き割れの抑制が重要な課題となっている。本発明の目的は、部品製造工程上、加工性が優れ焼き割れを起こさず、かつ部品として160kgf/mm²以上の優れた振り強度を有する軸部品を提供しようとするものである。

【0004】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、高周波焼*

$$\text{断面内平均硬さ } HV_a = \left(\sum_{n=1}^N HV_n \times r_n^2 \times \Delta r_n \right) \times 3 / a^3$$

【0006】以上は、次の知見から得られた。図3は軸部品の振り変形過程で塑性変形が表層から内部へ進行する時の剪断歪と剪断応力を模式的に示した図である。図中で実線は剪断歪分布、太実線は剪断応力分布、破線は剪断降伏応力分布を示す。トルクが1)の時、表面で剪断応力 τ が鋼材の剪断降伏応力 τ_y に達して塑性変形が開始する。トルクが2)の段階まで振り変形が進行すると、加工硬化を伴いながら(図中で表層部の破線と実線の差が加工硬化量)塑性変形が内部へ進行する。なお、※

$$M_t = 2\pi \int_0^a \tau(r) r^2 dr \quad \dots \dots \dots (1)$$

但し、 a :半径

【0009】一方、一般に振り強度の指標として用いられる弾性破壊を仮定した見かけ上の剪断破壊応力 τ_{max} は次式(2)で求められる。

$$\begin{aligned} \tau_{max} &= \frac{2M_t}{\pi a^3} \\ &= \frac{4}{a^3} \int_0^a \tau(r) r^2 dr \\ &= \frac{4}{a^3} \int_0^a \tau_t(r) r^2 dr \quad \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

但し、 $\tau_t(r)$:破壊時のせん断応力分布

【0011】鋼材が中・高炭素マルテンサイト鋼なので加工硬化量が小さいと仮定すると、図3から明らかなように破壊時の剪断応力分布は剪断降伏応力分布にほぼ一致するため、破壊時の剪断応力分布は硬さ分布の関数と☆

$$\tau_{max} = \frac{4K_1}{a^3} \int_0^a HV(r) r^2 dr \quad \dots \dots \dots (3)$$

【0013】ここで、均一硬さ材に相当する硬さの指標として、相当硬さ HV_o を次式(4)で定義する。

*入れにより優れた振り強度を有する軸部品を実現するために、鋭意検討を行い次の知見を得た。

(1) 高周波焼入れ材の振り強度は、延性破壊する場合、下記で定義される断面内平均硬さに比例して向上する。振り強度と断面内平均硬さの関係から外挿すると、160kgf/mm²以上の優れた振り強度を得るためには、 HV_a が560以上とすることが必要である。断面内平均硬さの定義;図2に示したように、半径 a の断面を半径方向に同心円状に N 個のリングに分割し、 n 番目のリング状部分の硬さを HV_n 、半径を r_n 、間隔を Δr_n とした時、

【0005】

【数3】

※図中の1点鎖線は塑性変形が起こらないと仮定した時の仮想的な剪断応力分布である。さらにトルクが振り破壊を起こす直前の3)の段階では、ほぼ中心部まで塑性変形が進行していると考えられる。

【0007】ここで、任意の剪断応力分布 $\tau(r)$ に対するトルク M_t は次式(1)で与えられる。

【0008】

【数4】

★【0010】

【数5】

★

☆して $\tau_t(r) = K_1 \cdot HV(r)$ と近似できる。

【0012】

【数6】

【0014】

【数7】

(4)

6

$$HV_{\text{eq}} = K_2 \int_0^a HV(r) r^2 dr \quad \dots \dots \dots (4)$$

【0015】均一硬さ材では、 $HV_{\text{eq}} = HV = \text{一定}$ * 【0016】
 り、 $K_2 = 3/a^3$ * 【数8】

$$HV_{\text{eq}} = \frac{3}{a^3} \int_0^a HV(r) r^2 dr \quad \dots \dots \dots (5)$$

【0017】(3)、(5)式より、

※【数9】

【0018】

※10

$$\tau_{\text{max}} = K_3 \cdot HV_{\text{eq}} \quad \dots \dots \dots (6)$$

【0019】相当硬さ HV_{eq} は、断面を半径方向に同心
 円状にN個のリングに分割し、n番目のリング状部分の
 硬さを HV_n 、半径を r_n 、間隔を Δr_n とした時、次★

★のように近似できる。

【0020】

【数10】

$$HV_{\text{eq}} = \left(\sum_{n=1}^N HV_n \cdot r_n^2 \cdot \Delta r_n \right) \times 3/a^3 \quad \dots \dots \dots (7)$$

【0021】これをあらためて、断面内平均硬さ HVa
 と定義した。図4は、各種の硬さ分布を有する材料につ
 いて、平均硬さ HVa を求め、振り強度を HVa で整理
 した結果であるが、振り強度は HVa と良い相関があ
 り、160kgf/mm²以上の優れた強度を得るため
 には、 HVa が560以上とすることが必要であること
 が明らかである。

【0022】(2)しかしながら、従来材を用いて断面
 内平均硬さを増加させていくと、「延性破壊」から「粒
 界割れ起点の脆性破壊」に破壊モードが変化し、強度の
 増加が飽和するかもしれない。しかしな
 がら、下記の手法を組み合わせる用いれば粒界破壊によ
 る脆性破壊が抑制され、断面内平均硬さの増加に伴い振
 り強度は増加する。

1) Ti-B添加

2) P、Cu、O量の低減

3) 炭窒化物による旧オーステナイト粒の細粒化 (A
1、N適量添加)

【0023】(3)上記の脆性破壊抑制による振り強度
 増加の効果は、上記に加えてさらに次の手法を付加する
 ことによりさらに大きくなる。

1) Si増量

2) Cr、Mo、Ni添加

3) ハードショットピーニング処理による圧縮残留応力
 の付与

【0024】(4)上記(1)の断面内平均硬さを増加
 させていくと、従来材では焼き割れを起こしやすくなる
 が、上記の(2)、(3)の対策を講じるにより焼☆

$$\text{断面内平均硬さ } HVa = \left(\sum_{n=1}^N HV_n \times r_n^2 \times \Delta r_n \right) \times 3/a^3$$

【0028】本発明の請求項2の発明は重量比として、

C : 0.35~0.70%

Si : 0.15超~2.5%

Mn : 0.6~2.0%

S : 0.005~0.15%

50 Al : 0.0005~0.05%

7
 Ti: 0.005~0.05%
 B: 0.0005~0.005%
 N: 0.002~0.02%
 を含有し、
 P: 0.020%以下
 Cu: 0.05%以下
 O: 0.0020%以下に制限し、

残部が鉄および不可避免の不純物からなり、下記で定義さ*

$$\text{断面内平均硬さ } HV_a = \left(\sum_{n=1}^N HV_n \times r_n^2 \times \Delta r_n \right) \times 3 / a^3$$

【0030】本発明の請求項3ないし5の発明は、鋼がさらに、

Cr: 0.03~1.5%

Mo: 0.05~1.0%

Ni: 0.1~3.5%

の1種または2種以上を含有し、

さらにまたは、

Nb: 0.01~0.3%、

V: 0.03~0.6%、

の1種または2種を含有し、さらにまたは、

Ca: 0.0005~0.010%

Pb: 0.05~0.5%

の1種または2種を含有する請求項1または2記載の高強度高周波焼入れ軸部品である。本発明の請求項6または請求項7の発明は、高周波焼入れ層の旧オーステナイト結晶粒度が9番以上であり、さらにまたは表面の残留応力が -80 kgf/mm^2 以下である請求項1ないし5記載の高強度高周波焼入れ軸部品である。

【0031】

【作用】以下に、本発明を詳細に説明する。請求項1は、最終製品が優れた振り強度を有し、かつ軸部品の製造工程において加工性に優れ、焼き割れを起こさない高強度高周波焼入れ軸部品に関する発明である。まず、請求項1発明の成分含有範囲を上記の如く限定した理由について説明する。

【0032】Cは高周波焼入れ硬化層の硬さを増加させるのに有効な元素であるが、0.35%未満では硬さが不十分であり、また0.70%を超えるとオーステナイト粒界への炭化物析出が顕著になって粒界強度を劣化させ、脆性破壊強度の低下を招くとともに、焼き割れが発生しやすくなるため、含有量を0.35~0.70%に定めた。

【0033】次に、Siは脱酸元素として添加する。しかしながら、0.01%未満ではその効果は不十分である。一方、Siは固溶体硬化により素材硬さを高くするため、0.15%を超える添加は、軸部品の製造工程で加工性を劣化させる。以上の理由で、その含有量を0.01~0.15%とした。

【0034】Mnは焼入れ性の向上を目的として添加する。しかしながら、0.20%未満ではこの効果は不十分

8
 *れる断面内平均硬さ HV_a が560以上であることを特徴とする高強度高周波焼入れ軸部品である。断面内平均硬さの定義；半径 a の断面を半径方向に同心円状に N 個のリングに分割し、 n 番目のリング状部分の硬さを HV_n 、半径を r_n 、間隔を Δr_n とした時、

【0029】

【数12】

分である。一方、2.0%を超えるとこの効果は飽和しむしろ最終製品の靱性の劣化を招くので、その含有量を0.20~2.0%とした。

【0035】また、Sは鋼中でMnSを形成、これによる高周波焼入れ加熱時のオーステナイト粒の微細化および被削性の向上を目的として添加するが、0.005%未満ではその効果は不十分である。一方、0.15%を超えるとその効果は飽和し、むしろ粒界偏析を起こし粒界脆化を招く。以上の理由から、Sの含有量を0.005~0.15%とした。

【0036】Alは、1) Nと結合してAlNを形成することによる高周波焼入れ加熱時のオーステナイト粒の微細化を目的として、および2) 脱酸元素として添加するが、0.0005%未満ではその効果は不十分であり、一方、0.05%を超えるとその効果は飽和し、むしろ靱性を劣化させるので、その含有量を0.0005~0.05%とした。

【0037】Tiもやはり鋼中でNと結合してTiNとなるが、これによる1) 高周波焼入れ加熱時のオーステナイト粒の微細化、および2) 固溶Nの完全固定によるBN析出防止、つまり固溶Bの確保を目的として添加する。しかしながら、0.005%未満ではその効果は不十分であり、一方、0.05%を超えるとその効果は飽和し、むしろ靱性を劣化させるので、その含有量を0.005~0.05%とした。

【0038】Bは固溶状態でオーステナイト粒界に粒界偏析し、P、Cu等の粒界不純物を粒界から追い出すことにより粒界強度を増加させることを狙いとして添加する。しかしながら、0.0005%未満ではその効果は不十分であり、一方、0.005%を超える過剰添加は、むしろ粒界脆化を招くので、その含有量を0.0005~0.005%とした。

【0039】さらに、NはAlN等の炭窒化物析出による高周波加熱時のオーステナイト粒の微細化を目的として添加するが、0.002%未満ではその効果は不十分であり、一方、0.02%超では、その効果は飽和しむしろBNを形成して固溶Bの減少を招くので、その含有量を0.002~0.02%とした。

【0040】一方、Pはオーステナイト粒界に粒界偏析を起こし、粒界強度を低下させて振り応力下での脆性破

壊を起こし易くし、そのため強度を低下させる。特にPが0.02%を超えると強度低下が顕著となるため、0.02%を上限とした。なお、より一層高強度化を指向する場合は、Pの含有量を0.009%以下とするのが望ましい。

【0041】また、CuもPと同様オーステナイト粒界に粒界偏析を起こし、強度低下の原因となる。特にCuが0.05%を超えると強度低下が顕著となるため、0.05%を上限とした。

【0042】さらに、Oは粒界偏析を起こし粒界脆化を
10 起こすとともに、鋼中で硬い酸化物系介在物を形成し、振り応力下での脆性破壊を起こし易くし、強度低下の原因となる。特にOが0.0020%を超えると強度低下が顕著となるため、0.0020%を上限とした。

【0043】次に、高周波焼入れ軸部品が上記の成分からなり、上記で定義される断面内平均硬さHVAが560以上とした理由を以下に述べる。高周波焼入れ材の振り強度は、断面内平均硬さに比例して向上する。160 kgf/mm²以上の優れた振り強度を得るためには断面内平均硬さHVAを560以上とすることが必要であり、それ未満では振り強度が不足する。以上の理由から、断面内平均硬さHVAが560以上とした。なお、本発明では硬化層深さは特に限定しないが、JIS G 559で規定する高周波焼入れ硬化層深さ測定方法に基づく有効硬化層深さtと部品半径rの比t/rを0.3
20 ~0.8とするのが望ましい。これは高周波焼入れ材のねじり強さは、高周波焼入れ深さを深くするほど向上するが、有効硬化層深さがt/rで0.3未満では、ねじり強さ向上効果が小さく、また0.8を超えると表層の圧縮残留応力が低下するため、軸部品製造工程で焼き割れ発生
30 の危険性が増すためである。

【0044】次に請求項2は、最終製品がより一層の高い振り強度を有し、かつ製造工程で焼き割れを起こさない高強度高周波焼入れ軸部品に関する発明である。請求項2発明でSi:0.15超~2.5%、Mn:0.6
~2.0%を含有する鋼を用いるのは次の理由による。

【0045】Siは1)オーステナイト粒界への炭化物析出抑制による粒界強化を目的として、および2)脱酸元素として添加する。しかしながら、0.15%以下の
40 添加では粒界強化の効果は不十分であり、一方、2.5%を超える過剰添加は、むしろ粒界脆化を招くので、その含有量を0.15超~2.5%とした。なお、一層の高強度化を図るためには、0.4%以上のSi添加が望ましい。

【0046】Mnは1)焼入れ性の向上、および鋼中でMnSを形成することによる2)高周波焼入れ加熱時のオーステナイト粒の微細化と3)被削性の向上を目的として添加する。しかしながら、より高い振り強度を指向した場合には0.60%未満の添加では不十分である。一方、Mnはオーステナイト粒界に粒界偏析を起こし、
50 粒界強度を低下させて振り応力下での脆性破壊を起こし易くし、そのため強度を低下させる。特にこの傾向は2.0%以上で顕著になる。以上の理由から、Mnの含有量を0.6~2.0%とした。

粒界強度を低下させて振り応力下での脆性破壊を起こし易くし、そのため強度を低下させる。特にこの傾向は2.0%以上で顕著になる。以上の理由から、Mnの含有量を0.6~2.0%とした。

【0047】請求項3は、Cr、Mo、Ni添加により、1)焼入れ性の向上による高周波焼入れ硬さの増加、硬化層深さの増加および2)オーステナイト粒界に粒界偏析を起こすことによる粒界強度増加または粒界近傍の靱性改善による脆性破壊防止により一層の高強度化を図った軸部品用鋼材である。しかしながら、Cr:0.03%未満、Mo:0.05%未満、Ni:0.1%未満ではこの効果は不十分である。一方、Cr:1.5%超、Mo:1.0%超、Ni:3.5%超ではこの効果は飽和し、このような過剰添加は経済性の観点から好ましくない。以上の理由から、これらの含有量をCr:0.03~1.5%、Mo:0.05~1.0%、Ni:0.1~3.5%とした。

【0048】請求項4は、1)高周波加熱時のオーステナイト粒を一層微細化し、粒界破壊を防止するとともに、2)析出強化により芯部の硬さを増加することにより高強度化を図った軸部品用鋼材である。Nb、Vは鋼中で炭窒化物を形成し、高周波加熱時のオーステナイト粒を微細化させる効果、および析出強化により芯部の硬さを増加させる効果を有する。しかしながら、Nb含有量が0.01%未満、V含有量が0.03%未満ではその効果は不十分である。一方、Nb:0.30%超、V:0.60%超では、その効果は飽和し、このような過剰添加は経済性の観点から好ましくない。以上の理由から、これらの含有量をNb:0.01~0.3%、
V:0.03~0.6%とした。

【0049】請求項5は、最終製品が優れた振り強度を有し、かつ軸部品の製造工程において加工性に優れ、焼き割れを起こさない高強度高周波焼入れ軸部品に関する発明である。本発明鋼では、被削性向上を目的としてCa、Pbの1種また2種を含有させることが出来る。なお、Caは被削性向上だけでなく、鋼中でPと結合して燐化物を生成し、Pの粒界偏析量を低減し粒界強度を増加させる効果も有している。しかしながら、Ca含有量が0.0005%未満、Pb含有量が0.05%未満ではこれら効果は不十分であり、一方、Ca:0.01%超、Pb:0.50%超では、これらの効果は飽和し、むしろ靱性を劣化させるので、これらの含有量をCa:0.0005~0.010%、Pb:0.05~0.5%とした。

【0050】次に、請求項6は高周波加熱時のオーステナイト粒を一層微細化し、粒界破壊防止による高強度化を図った軸部品である。本発明において高周波焼入れ軸部品の高周波焼入れ層の旧オーステナイト結晶粒度が9番以上としたのは、高周波焼入れ層の旧オーステナイト
50 粒界の微細化により粒界破壊による脆性破壊が抑制され

るが、結晶粒度が9番未満ではこの効果は小さいためである。

【0051】請求項7は高周波焼入れ軸部品の表面に大きな圧縮残留応力を付与し、これにより脆性破壊を抑制して一層の高強度化を図った軸部品である。本発明において高周波焼入れ軸部品の表面の残留応力が -80 kgf/mm^2 以下としたのは、圧縮残留応力の付与により脆性破壊が抑制されて振り強度が増加し、その効果は表面の残留応力が -80 kgf/mm^2 以下で特に顕著になるためである。

【0052】ここで、本発明の高周波焼入れ軸部品では、製造のための高周波焼入れ条件および焼戻し条件は特に限定せず、本発明の要件を満足すればいずれの条件でも良い。例えば、本発明の要件を満足すれば焼戻し処理を行わなくても良い。また、本発明では、本発明の要件を満足すれば、高周波焼入れの前に焼準、焼鈍、球状化焼鈍、焼入れ-焼戻し等の熱処理を必要に応じて行うことができる。なお、高周波焼入れの前に焼準、焼鈍、球状化焼鈍を行わない場合には、鋼材素材の熱間圧延による製造を仕上げ温度； $700\sim 850^\circ\text{C}$ 、仕上げ圧延後 $700\sim 500^\circ\text{C}$ の温度範囲の平均冷却速度； $0.05\sim 0.7^\circ\text{C/秒}$ の条件で行うのが望ましい。

【0053】また、本発明の高周波焼入れ軸部品における圧縮残留応力の付与は、高周波焼入れ-焼戻し後、アークハイト 1.0 mmA 以上の強さでのハードショット

ピーニング処理が有効である。ここで、アークハイトとは例えば「自動車技術、Vol. 41, No. 7, 1987, 726~727頁」に掲載されているようにショットピーニングの強さの指標である。但し、本発明では、圧縮残留応力の付与の条件は特に限定せず、本発明の要件を満足すればいずれの条件でも良い。以下に、本発明の効果を実施例により、さらに具体的に示す。

【0054】

【実施例】表1~3の組成を有する鋼材を $40\text{ mm}\phi$ の棒鋼に圧延した。この棒鋼から被削性評価用ドリル穴開け試験片、振り試験片および焼き割れ感受性評価試験片を採取した。被削性の評価は、送り速度 0.33 mm/s で、ドリル（材質：SKH51- $\phi 10\text{ mm}$ ）の周速を種々変化させ、各速度においてドリル切削不能になる総穴深さを求め、周速-ドリル寿命曲線を作成し、ドリル寿命が 1000 mm となる最大速度を V_{11000} と規定し、被削性の評価基準とした。表1~3に V_{11000} の評価結果を併せて示す。被削性は、第1発明鋼等の S_i ： $0.01\sim 0.15\%$ である鋼材が第2発明鋼等の S_i ： $0.15\text{ 超}\sim 2.5\%$ である鋼材に比べて相対的に優れており、また被削性向上元素を含有する第5発明鋼が特に被削性が優れていることがわかる。

【0055】

【表1】

13

区分	鋼号	供試材の化学組成 (wt%)	V _{1,000} (m/min)																
		C	Si	Mn	S	Al	Ti	B	N	P	Cu	O	Cr	Mo	Ni	Nb	V	Ca	Pb
第1 群 究明鋼	1	0.40	0.04	0.86	0.027	0.037	0.021	0.0023	0.0036	0.011	0.01	0.0012	-	-	-	-	-	-	22
	2	0.45	0.03	1.31	0.026	0.031	0.021	0.0023	0.0038	0.012	0.01	0.0012	-	-	-	-	-	-	20
	3	0.52	0.02	0.51	0.025	0.026	0.023	0.0028	0.0042	0.007	0.02	0.0015	-	-	-	-	-	-	21
	4	0.57	0.12	1.55	0.056	0.024	0.019	0.0023	0.0073	0.006	0.02	0.0008	-	-	-	-	-	-	17
	5	0.65	0.03	0.49	0.007	0.034	0.041	0.0024	0.0149	0.012	0.04	0.0011	-	-	-	-	-	-	20
第2 群 究明鋼	6	0.39	0.30	1.68	0.018	0.038	0.042	0.0023	0.0047	0.013	0.02	0.0013	-	-	-	-	-	-	16
	7	0.47	1.82	0.68	0.033	0.016	0.007	0.0008	0.0024	0.008	0.01	0.0017	-	-	-	-	-	-	15
	8	0.53	0.64	1.62	0.131	0.036	0.024	0.0031	0.0085	0.012	0.03	0.0009	-	-	-	-	-	-	14
	9	0.56	0.28	0.85	0.027	0.031	0.021	0.0038	0.0044	0.016	0.02	0.0013	-	-	-	-	-	-	16
	10	0.62	1.14	0.79	0.025	0.018	0.044	0.0029	0.0157	0.012	0.02	0.0011	-	-	-	-	-	-	14
第3 群 究明鋼	11	0.45	0.02	1.30	0.025	0.031	0.020	0.0021	0.0036	0.010	0.01	0.0013	0.05	-	-	-	-	-	20
	12	0.46	0.02	0.36	0.022	0.019	0.007	0.0007	0.0026	0.008	0.03	0.0013	0.91	0.10	-	-	-	-	20
	13	0.52	0.03	0.55	0.102	0.035	0.019	0.0018	0.0076	0.007	0.04	0.0008	0.05	0.12	-	-	-	-	17
	14	0.58	0.03	0.53	0.068	0.030	0.018	0.0023	0.0042	0.013	0.02	0.0013	0.75	0.08	1.54	-	-	-	17
	15	0.43	0.26	0.65	0.126	0.034	0.023	0.0027	0.0073	0.006	0.03	0.0008	0.48	-	-	-	-	-	14
第4 群 究明鋼	16	0.45	0.31	1.60	0.055	0.026	0.022	0.0025	0.0066	0.007	0.01	0.0008	0.66	0.10	-	-	-	-	13
	17	0.53	1.38	1.30	0.120	0.019	0.034	0.0035	0.0061	0.017	0.03	0.0011	0.05	0.12	-	-	-	-	10
	18	0.56	0.29	1.26	0.008	0.024	0.047	0.0032	0.0137	0.013	0.02	0.0013	0.06	0.47	1.94	-	-	-	22
	19	0.41	0.04	0.50	0.052	0.033	0.035	0.0031	0.0073	0.010	0.03	0.0014	-	-	-	0.031	-	-	17
	20	0.43	0.06	1.58	0.021	0.032	0.021	0.0028	0.0042	0.010	0.01	0.0015	1.01	0.08	-	0.017	-	-	20
	21	0.45	0.03	0.42	0.017	0.042	0.027	0.0027	0.0051	0.013	0.01	0.0011	0.49	0.07	0.23	0.021	0.07	-	19
	22	0.46	0.03	1.31	0.027	0.031	0.017	0.0025	0.0044	0.009	0.01	0.0015	0.05	0.07	-	0.021	0.07	-	19
	23	0.52	0.02	1.31	0.026	0.031	0.021	0.0022	0.0042	0.012	0.01	0.0013	0.05	0.10	-	0.022	-	-	19

[0056]

[表2]

15

16

区分	鋼%	供 試 材 の 化 学 組 成 (wt%)																	V ₁₀₀₀ (μ/min)	
		C	Si	Mn	S	Al	Ti	D	N	P	Cu	O	Cr	Mo	Ni	Nb	V	Ca		Pb
第4 発明例 (模範)	24	0.53	0.03	0.51	0.007	0.032	0.023	0.0022	0.0037	0.013	0.01	0.0014	0.68	0.10	-	0.020	0.16	-	-	17
	25	0.57	0.02	1.30	0.025	0.034	0.019	0.0024	0.0041	0.010	0.01	0.0009	0.05	0.10	-	0.021	-	-	-	18
	26	0.39	0.92	1.33	0.027	0.032	0.027	0.0024	0.0044	0.013	0.01	0.0012	-	-	-	-	0.13	-	-	15
	27	0.42	0.19	0.66	0.055	0.026	0.022	0.0023	0.0057	0.008	0.01	0.0009	-	-	-	0.063	0.07	-	-	18
	28	0.43	0.31	1.61	0.055	0.031	0.027	0.0025	0.0041	0.012	0.01	0.0013	0.30	0.08	-	0.016	0.10	-	-	14
	29	0.42	0.06	1.54	0.021	0.033	0.021	0.0026	0.0045	0.012	0.01	0.0012	1.01	0.08	-	0.017	-	0.0015	0.20	24
	30	0.42	0.04	0.42	0.019	0.024	0.025	0.0026	0.0041	0.008	0.01	0.0014	0.95	0.11	-	0.021	0.07	0.0013	0.21	27
	31	0.47	0.03	1.31	0.026	0.034	0.021	0.0023	0.0035	0.011	0.01	0.0009	0.05	0.10	-	0.019	0.08	0.0012	0.25	26
第5 発明例	32	0.47	0.03	0.75	0.025	0.001	0.007	0.0009	0.0035	0.006	0.03	0.0013	-	-	-	-	-	0.0015	-	27
	33	0.52	0.07	0.51	0.129	0.001	0.043	0.0027	0.0032	0.011	0.02	0.0011	0.41	0.27	0.83	0.036	0.07	0.0012	0.12	23
	34	0.53	0.03	1.44	0.016	0.029	0.018	0.0026	0.0042	0.008	0.01	0.0009	0.05	0.10	-	0.021	-	0.0021	0.10	26
	35	0.53	0.03	0.54	0.007	0.029	0.022	0.0025	0.0042	0.012	0.01	0.0011	0.71	0.11	-	0.022	0.16	0.0014	0.10	25
	36	0.56	0.02	1.31	0.025	0.032	0.017	0.0020	0.0050	0.008	0.02	0.0008	0.05	0.11	-	0.020	-	0.0015	0.21	27
	37	0.57	0.03	1.52	0.048	0.045	0.046	0.0017	0.0177	0.006	0.02	0.0016	-	-	-	-	-	-	0.22	26
	38	0.62	0.04	0.31	0.045	0.036	0.021	0.0024	0.0052	0.012	0.01	0.0016	0.66	0.19	-	-	-	0.0018	0.14	25
	39	0.42	0.31	1.59	0.056	0.032	0.025	0.0026	0.0046	0.009	0.01	0.0014	0.30	0.09	-	0.018	0.12	0.0022	0.17	24
	40	0.42	1.77	0.73	0.101	0.033	0.034	0.0033	0.0031	0.012	0.01	0.0009	0.73	0.25	-	0.038	-	-	0.31	21
	41	0.45	2.15	0.65	0.024	0.024	0.043	0.0036	0.0031	0.016	0.01	0.0013	1.13	0.31	-	-	0.42	-	0.25	18
	42	0.45	1.34	0.66	0.055	0.001	0.009	0.0017	0.0032	0.011	0.03	0.0015	0.73	0.32	-	-	-	0.0039	-	22
	43	0.53	0.47	0.61	0.124	0.018	0.006	0.0008	0.0024	0.009	0.01	0.0013	-	-	-	-	-	-	0.20	24
	44	0.63	1.34	0.64	0.049	0.025	0.009	0.0017	0.0036	0.006	0.02	0.0017	-	-	-	-	-	0.0014	-	19

[0057]

[表3]

区分	鋼種	供試材の化学組成 (wt%)															V ₁₀₀₀ (m/min)		
		C	Si	Mn	S	Al	Ti	B	N	P	Cu	O	Cr	Mo	Ni	Nb		V	Ca
比較鋼	45	0.31	0.25	0.76	0.065	0.024	0.032	0.0029	0.0043	0.012	0.02	0.0008	-	-	-	-	-	-	20
	46	0.76	1.42	0.68	0.018	0.031	0.021	0.0022	0.0041	0.008	0.02	0.0017	-	-	-	-	-	-	12
	47	0.41	2.76	0.76	0.042	0.033	0.019	0.0023	0.0072	0.013	0.01	0.0013	-	-	-	-	-	-	14
	48	0.52	0.02	0.15	0.027	0.037	0.023	0.0021	0.0044	0.007	0.01	0.0015	-	-	-	-	-	-	19
	49	0.42	0.48	2.41	0.104	0.019	0.008	0.0009	0.0037	0.008	0.01	0.0013	-	-	-	-	-	-	14
	50	0.52	1.58	1.67	0.003	0.026	0.034	0.0035	0.0075	0.012	0.01	0.0009	-	-	-	-	-	-	7
	51	0.43	0.05	1.64	0.176	0.025	0.033	0.0026	0.0041	0.013	0.04	0.0011	-	-	-	-	-	-	16
	52	0.37	0.02	0.55	0.038	0.069	0.024	0.0023	0.0043	0.011	0.02	0.0016	-	-	-	-	-	-	18
	53	0.57	1.11	0.33	0.025	0.033	0.003	0.0017	0.0031	0.017	0.02	0.0014	-	-	-	-	-	-	15
	54	0.40	0.86	0.92	0.033	0.036	0.071	0.0021	0.0037	0.008	0.01	0.0014	-	-	-	-	-	-	17
	55	0.54	0.37	0.78	0.031	0.028	0.042	0.0002	0.0082	0.012	0.01	0.0014	-	-	-	-	-	-	17
	56	0.65	0.02	0.51	0.125	0.031	0.017	0.0037	0.0075	0.009	0.02	0.0009	-	-	-	-	-	-	14
	57	0.55	0.73	1.31	0.066	0.024	0.034	0.0031	0.0011	0.013	0.03	0.0010	-	-	-	-	-	-	13
58	0.43	1.63	1.37	0.092	0.029	0.042	0.0027	0.0223	0.011	0.04	0.0015	-	-	-	-	-	-	14	
59	0.47	1.45	0.83	0.082	0.031	0.023	0.0021	0.0043	0.024	0.02	0.0016	-	-	-	-	-	-	15	
60	0.38	2.08	1.02	0.018	0.026	0.041	0.0025	0.0042	0.013	0.09	0.0012	-	-	-	-	-	-	15	
61	0.59	0.03	0.46	0.020	0.045	0.026	0.0031	0.0081	0.016	0.03	0.0024	-	-	-	-	-	-	16	
62	0.53	0.04	0.73	0.027	0.034	0.026	0.0026	0.0073	0.016	0.01	0.0012	-	-	-	-	-	0.0132	17	
63	0.46	0.76	0.81	0.043	0.033	0.021	0.0021	0.0036	0.012	0.03	0.0011	-	-	-	-	-	-	0.67	16

【0058】次に、対象としている軸部品はスプライン部のような応用集中部（＝切り欠き部）を有しており、この切り欠き部で破壊する。そのため、強度評価は切り欠き付き材での評価が必要である。そこで、振り強度評価用の試験片として平行部が16mmφで中央部に先端

R0.25mm、深さ2mmの切り欠きを有する切り欠き付き振り試験片を用いた。

【0059】
【表4】

高周波焼入 条件No	方式	周波数 (kHz)	加熱温度 (℃)	送り速度 (mm/秒)	保時間 (秒)
A	固定焼入れ	10	1000	—	2
B	移動焼入れ	10	1000	15	—
C	移動焼入れ	30	1000	25	—
D	移動焼入れ	10	1100	3	—

【0060】表4に示すA～Cの条件で高周波焼入れを行い、その後170℃×1時間の条件で焼戻しを行った。これらの試料について振り試験を行った。なお、一部の試料については、高周波焼入れ-焼戻し後、アークハイト1.0～1.5mmAの条件でショットピーニング処理を行った。また、焼き割れ感受性を評価するために、直径24mmφ、長さ200mmLで長手方向に先端R0.25mm、深さ3mmの切り欠きを有する試験片を用い、表4に示すDの条件で高周波焼入れを行い、切り欠き底の焼き割れの有無を観察した。

【0061】表1～3の鋼No. 1～44は本発明鋼、鋼No. 45～63は比較鋼である。表5～7に各鋼材の振り強度評価結果を、有効硬化層深さと半径の比 t/r 、断面内平均硬さHV_a、高周波焼入れ層の旧オーステナイト結晶粒度N_T、表面の残留応力、焼き割れ感受性の評価結果とあわせて示す。なお、有効硬化層深さは、JISG0559で規定する高周波焼入れ硬化層深さ測定方法に基づく有効硬化層深さである。

【0062】

【表5】

区 分	チ No	鋼 No	高周波 焼入条 件 No	ショットピーニング の有無 (7-μm/mmA)	t/r	HV _a	N γ	表面残留 応力 kgf/mm ²	張り強度 kgf/mm ²	焼割れ の有無
第1発明例	1	1	B	無	0.59	577	8.2	- 42	162	無
第1発明例	2	2	B	無	0.57	579	8.2	- 32	167	無
第1発明例	3B	3	B	無	0.61	609	8.4	- 34	163	無
第7発明例	3S	3	B	有(1.3)	0.61	609	8.4	- 91	184	無
比較例	3C	3	C	無	0.31	545	9.1	- 47	154	無
第1発明例	4	4	A	無	0.75	632	8.8	- 21	169	無
第1発明例	5A	5	A	無	0.64	674	8.3	- 31	176	無
第7発明例	5S	5	A	有(1.0)	0.64	674	8.3	- 82	192	無
第2発明例	6	6	B	無	0.68	572	8.4	- 25	166	無
第2発明例	7B	7	B	無	0.70	585	8.1	- 23	169	無
第7発明例	7S	7	B	有(1.2)	0.70	585	8.1	- 88	189	無
比較例	7C	7	C	無	0.28	513	8.7	- 48	152	無
第6発明例	8	8	A	無	0.80	621	9.7	- 19	180	無
第2発明例	9	9	A	無	0.78	637	8.6	- 21	171	無
第6発明例	10	10	A	無	0.80	679	9.1	- 20	184	無
第3発明例	11	11	B	無	0.65	589	8.4	- 31	169	無
第3発明例	12	12	B	無	0.58	576	8.1	- 47	166	無
第6発明例	13A	13	A	無	0.56	601	9.3	- 46	173	無
比較例	13C	13	C	無	0.24	521	10.2	- 51	149	無
第3発明例	14	14	A	無	0.75	618	8.9	- 24	173	無
第6発明例	15	15	B	無	0.62	577	9.6	- 35	175	無
第6発明例	16B	16	B	無	0.75	591	9.4	- 14	179	無
第7発明例	16S	16	B	有(1.1)	0.75	591	9.4	- 82	191	無
第6発明例	17	17	A	無	0.75	622	9.5	- 21	180	無
第3発明例	18A	18	A	無	0.76	638	8.6	- 22	177	無
比較例	18C	18	C	無	0.31	470	9.1	- 46	145	無

[0063]

[表6]

区 分	チタ No.	鋼 No.	高周波 焼入条 件 No.	ショットピーニング の有無 (7-クハトmmA)	L/I	HVA	N _T	表面残留 応力 kgf/mm ²	硬り強度 kgf/mm ²	焼入れ の有無
第6発明例	19	19	B	無	0.46	568	9.4	- 32	171	無
第4発明例	20	20	B	無	0.75	599	8.5	- 21	170	無
第4発明例	21	21	B	無	0.72	589	8.6	- 24	171	無
第4発明例	22	22	B	無	0.80	604	8.3	- 12	168	無
第4発明例	23	23	A	無	0.55	596	8.3	- 31	173	無
第4発明例	24	24	A	無	0.72	632	8.2	- 20	169	無
第7発明例	24S	24	A	有(1.2)	0.72	632	8.2	- 83	186	無
第4発明例	25A	25	A	無	0.72	632	8.6	- 19	172	無
比較例	25C	25	C	無	0.35	504	9.4	- 43	148	無
第4発明例	26	26	B	無	0.68	577	8.4	- 31	173	無
第4発明例	27	27	B	無	0.48	574	8.7	- 42	168	無
第4発明例	28	28	B	無	0.67	579	8.2	- 21	169	無
第5発明例	29	29	B	無	0.72	594	8.3	- 20	171	無
第5発明例	30	30	B	無	0.75	611	8.3	- 22	173	無
第5発明例	31B	31	B	無	0.70	590	8.1	- 22	164	無
第7発明例	31S	31	B	有(1.1)	0.70	596	8.1	- 83	181	無
比較例	31C	31	C	無	0.27	431	9.2	- 48	142	無
第5発明例	32	32	B	無	0.31	563	8.1	- 51	162	無
第6発明例	33	33	A	無	0.70	617	9.6	- 23	174	無
第5発明例	34	34	A	無	0.72	632	8.2	- 22	169	無
第5発明例	35	35	A	無	0.68	622	8.2	- 22	171	無
第5発明例	36A	36	A	無	0.72	638	8.6	- 23	173	無
第7発明例	36S	36	A	有(1.5)	0.72	638	8.6	- 97	187	無
第5発明例	37	37	A	無	0.52	631	8.1	- 38	171	無
第5発明例	38	38	A	無	0.56	669	8.3	- 47	176	無
第5発明例	39	39	B	無	0.56	571	8.3	- 48	165	無

[0064]

[表7]

区 分	テ No	鋼 No	高周波 焼入条 件 No	ショットピーニング の有無 (7-9μm/min)	L/r	HVa	N _T	表面残留 応力 kgf/mm ²	振り強度 kgf/mm ²	焼割れ の有無
第6発明例	40	40	B	無	0.70	583	9.5	-23	180	無
第5発明例	41B	41	B	無	0.68	579	8.1	-31	174	無
比較例	41C	41	C	無	0.28	410	8.7	-42	137	無
第5発明例	42	42	B	無	0.70	581	8.2	-21	175	無
第5発明例	43	43	A	無	0.30	562	8.0	-41	164	無
第5発明例	44	44	A	無	0.55	665	8.2	-38	182	無
比較例	45	45	B	無	0.52	512	8.1	-42	143	無
比較例	46	46	B	無	0.80	763	8.1	-17	139	有
比較例	47	47	B	無	0.72	582	9.3	-23	156	無
比較例	48	48	A	無	0.31	558	8.3	-34	157	無
比較例	49	49	A	無	1.00	603	8.1	-11	131	有
比較例	50	50	A	無	0.72	616	8.7	-23	171	無
比較例	51	51	A	無	0.75	581	8.4	-21	150	有
比較例	52	52	B	無	0.64	561	8.5	-28	152	無
比較例	53	53	A	無	0.72	633	8.1	-20	142	無
比較例	54	54	A	無	0.75	573	8.2	-20	155	無
比較例	55	55	A	無	0.30	576	9.6	-41	151	無
比較例	56	56	A	無	0.85	681	9.4	-13	142	有
比較例	57	57	A	無	0.75	622	7.3	-23	140	有
比較例	58	58	A	無	0.72	569	10.4	-24	152	無
比較例	59	59	B	無	0.75	593	8.3	-24	132	有
比較例	60	60	B	無	0.80	563	8.2	-20	140	有
比較例	61	61	B	無	0.80	650	9.7	-21	152	無
比較例	62	62	B	無	0.60	621	9.3	-38	153	無
比較例	63	63	B	無	0.53	584	8.2	-42	141	無

【0065】表5～7から明らかなように、本発明法による鋼はいずれも160kgf/mm²以上の優れた振り強度を有し、また焼き割れ感受性も小さいことがわかる。また、本発明法の中で、第2発明鋼等のSi:0.15超～2.5%、Mn:0.6～2.0%である鋼材を用いた発明例が、第1発明鋼等のSi:0.01～0.15%、Mn:0.2～2.0%である鋼材を用いた発明例に比べて相対的に高いレベルの振り強度を達成している。さらに高周波焼入れ層の旧オーステナイト結晶粒度が9番以上であるか、さらにまたは表面の残留応力が-80kgf/mm²以下である場合は、より

40 高いレベルの振り強度を達成していることがわかる。

【0066】一方、比較例3C、7C、13C、18C、25C、31C、41Cは、断面内平均硬さHV_aが560を下回った場合であり、いずれも160kgf/mm²以上の振り強度を達成していない。比較例50はSの含有量が本発明の範囲を下回った場合であり、160kgf/mm²以上の振り強度を有しているものの、表3に示したように鋼No.50は被削性が劣っている。

【0067】比較例45、48、53、55、57はC、Mn、Ti、B、Nの含有量が本発明の範囲を下回

った場合であり、また、比較例46、47、49、51、52、54、56、58、59、60、61、62、63はC、Si、Mn、S、Al、Ti、B、N、P、Cu、O、Ca、Pbの含有量が本発明の範囲を上回った場合であり、いずれも 160 kgf/mm^2 以上の振り強度を達成しておらず、また、この中の一部の粒界強化対策の不十分な鋼材等の比較例では、焼き割れが発生している。

【0068】

【発明の効果】以上述べたごとく、本発明法を用いれば、 160 kgf/mm^2 以上の優れた振り強度を有し、かつ焼き割れを起こさない高周波焼入れ軸部品の製造が可能となり、産業上の効果は極めて顕著なるものがある。

【図面の簡単な説明】

【図1】(a)はセレーション部を有するシャフト、

10

(b)はフランジ付シャフト、(c)は外筒付シャフトを示した図

【図2】断面内平均硬さの定義を説明するための図であり、断面を半径方向に同心円状に n 個のリングに分割した状態を示す図

【図3】軸部品の振り変形過程で塑性変形が裏面から内部へ進行する時の剪断歪と剪断力を模式的に示した図

【図4】各種材料の平均硬さ(HV_a)と振り強度との関係を示す図

【符号の説明】

10 シャフト

11、12 セレーション

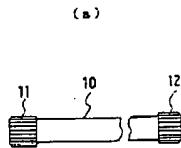
20、21 シャフト

22 フランジ

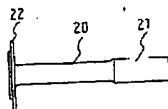
30、31、32 シャフト

33 外筒部

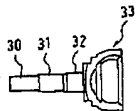
【図1】



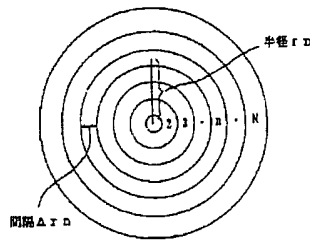
(b)



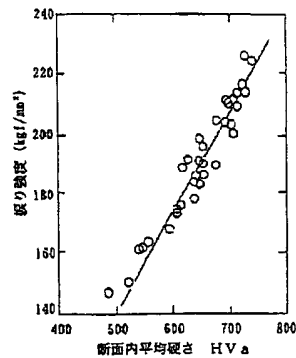
(c)



【図2】



【図4】



【図3】

